

不同肥料对铁皮石斛生长、抗氧化酶活性及多糖积累的影响

管成林¹,王巧丽²,胡秀芳¹

(1. 浙江理工大学生命科学院,杭州 310018;2. 浙江本元生物科技有限公司,浙江金华 321300)

摘要:为筛选铁皮石斛理想的肥料,以1年生铁皮石斛分蘖苗为材料,比较不同肥料对铁皮石斛生长(根系活力、叶绿素含量)、抗氧化酶活性及多糖含量的影响。结果表明:与对照相比,施肥显著促进铁皮石斛的生长;提高根系活力、叶片的叶绿素含量和茎的多糖含量,植物抗氧化酶活增强;其中栀子渣:山茶粕=3:1混肥促进效果最显著,碘肥次之。可见,栀子渣/山茶粕混合肥是铁皮石斛理想的生物肥料,显著优于化肥。

关键词:铁皮石斛;肥料;生长;抗性;多糖

中图分类号: Q946.33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3851(2016)06-0933-06 **引用页码:** 110707

0 引言

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)属气生兰科草本药用植物^[1],因其富含石斛多糖与石斛碱而具有增强免疫、防癌抗癌等神奇功效,备受青睐;此外铁皮石斛还具有益胃生津、滋阴清热、明目利嗓^[2]及抗氧化、降血糖血脂等多种功效,被誉为“中华九大仙草”之首。目前,据不完全统计,仅浙江省铁皮石斛企业有15家,相关产品多达20余种,占比达全国80%以上,产值多达6亿元,铁皮石斛的保健功效日益受到青睐,市场需求大增,铁皮石斛制药和保健品已经形成巨大的产业链,原料需求量日益扩大,人工种植是目前铁皮石斛原料的唯一来源。据统计,全国铁皮石斛种植面积约 $2.67 \times 10^7 \text{ m}^2$,专用肥料对铁皮石斛产业的健康发展举足轻重。

自然条件下,铁皮石斛多生长于高山峻岭的悬崖峭壁^[3],以半自养半异养的特殊营养方式生长和发育。长期适应贫瘠的岩石,造就了铁皮石斛独一无二的保健功效^[4-5],更成就了其特异的抗逆性和独特的需肥特性,既对营养有一定的需求

以满足植株生长的需要,同时又要限量以保持一定的应激条件,促进多糖等有效成分的合成与积累^[6],目前市场上还缺乏专用肥料满足这些特殊要求。此外,铁皮石斛喜阴好湿的习性使其病害发生较为普遍,因此筛选合适的肥料,同时促进植株生长和提高抗性非常关键。然而,铁皮石斛种植业普遍存在盲目施肥的问题,导致环境污染,背离有机生态理念,影响产量和品质,制约了产业的持续健康发展。

植物生长、抗氧化活性和药用成分积累是保障药用植物产量和品质的重要条件。根系活力和光合作用是决定植物生长的重要因素,根系活力越强、叶绿素含量越高,植株的生长越快,产量越大,有效成分积累也越多。抗氧化酶活性与植物抗逆性密切相关,SOD酶、POD酶及CAT酶活性对于植物抗氧化作用尤其重要,抗逆性间接促进植物的生长^[7-8]。另外,药用植物的品质取决于活性产物含量,多糖是铁皮石斛的主要活性成分。

本文比较了植物源有机肥(栀子渣/山茶粕)和化肥对铁皮石斛生长、抗氧化活性和多糖含量的影

收稿日期:2016-05-23

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LY16C030002);金华市农业重点项目(2014A22029)

作者简介:管成林(1991-),男,浙江湖州人,硕士研究生,主要从事微生物分子生态学方面的研究。

通信作者:胡秀芳,E-mail:huxiuf@zstu.edu.cn

响,筛选合适的专用生物肥料,以为铁皮石斛的高效、优质、绿色种植提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

a) 试验基地:本实验于浙江省金华市永康铁皮石斛白云山基地开展,位于浙江省中部地区,钱塘江上游,金衢盆地东缘,属典型的亚热带季风气候,四季分明,湿润多雨。

b) 铁皮石斛种苗:统一采用一年生本元一号铁皮石斛品种4—5月分蘖的石斛小苗,种苗长势相近。

c) 栽培基质:栽培基质为室外堆积发酵6个月的松麟,铺施基地10~15 cm厚度,种植前喷灌保湿3 d,其余种植管理条件大体相同。

d) 供试肥料:山茶粕,山茶果实榨油后残渣;栀子渣,栀子果实色素苷提取后残渣;复合肥,兰花专用(花多多);碘肥,含碘量在0.10%左右的化肥;其中山茶粕和栀子渣在施用前需经3个月的堆积发酵后方可施用。

e) 主要检测试剂:氯化三苯基四氮唑 TTC (Amresco, AR), 愈创木酚 (2-Methoxyphenol), 牛血清白蛋白 (上海生工, AR), 考马斯亮蓝 G-250 (Amresco, AR), 葡萄糖 D-Glucose (上海生工, AR), 重蒸酚 (Solarbio, AR)。

1.2 实验方法

a) 处理

实验处理:施肥量均为惯用量①CK:不施肥(空白对照);②1号处理:山茶粕(0.30 kg/m²);③2号处理:复合肥(0.04 kg/m²);④3号处理:含碘肥料(0.07 kg/m²);⑤4号处理:栀子渣(0.90 kg/m²);⑥5号处理:栀子渣:山茶粕=3:1混肥(0.60 kg/m²)。实验大棚为8号大棚,单组施肥面积为1 m×60 m(见图1),重复三组,共计180 m²。每个处理3×12 m²,按顺序依次施肥。



(a) 实验基地

(b) 样品

图1 实验基地和样品

b) 采样

2015年3月施肥处理后,分别于2015年7月和11月采样检测(见图1),样品采用Z字取样法全

株采集,每个样品采集10株,3个重复。样品于冰盒中当天送回实验室,低温保藏。

c) 检测

肥料施用后每隔4个月采样测定铁皮石斛中的根系活力、石斛多糖、可溶性蛋白、过氧化物酶、叶绿素等含量。其中根系活力采用TTC还原法测定,叶绿素采用分光光度法,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝G-250法、氧化物歧化酶(SOD)活性用NBT光还原法测定,过氧化物酶(POD)采用愈创木酚法,过氧化氢酶(CAT)活性用碘量法进行测定,石斛多糖采用苯酚硫酸法测定,具体实验方法参考文献[9]。

d) 分析

数据分析主要采用SPSS软件。

2 实验结果

2.1 肥料对铁皮石斛生长潜力的影响

2.1.1 对根系活力的影响

根系活力是评价植物根系吸收功能和新陈代谢的重要指标。如图2所示,5种不同处理的铁皮石斛根系活力TTC还原量存在显著性差异,根系活力从大到小依次为5号(栀子渣/山茶粕)>3号(含碘肥料)>2号(复合肥)>4号(栀子渣)>1号(山茶粕)>CK(空白对照)。比较不同肥料的效果,7月份检测结果发现施用5号、3号和2号肥料的植株根系活力分别是对照组的3.04倍、2.91倍和2.16倍;11月份检测结果发现施用5号、3号和2号肥料的植株根系活力分别是对照组的2.14倍、2.01倍和1.39倍,表明栀子渣/山茶粕混肥、碘肥能显著增强铁皮石斛的根系活力,其效果优于化肥。

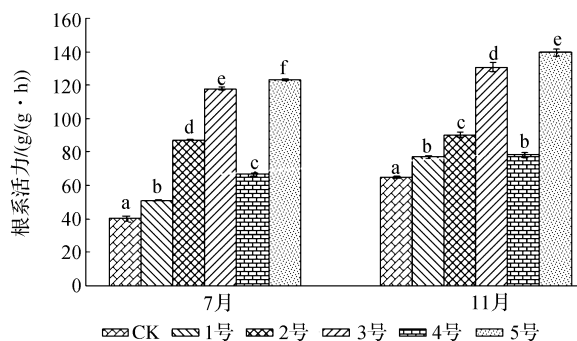


图2 不同肥料处理下铁皮石斛根系活力

注:统计分析均采用Duncan's multiple range test方法,不同字母表示显著性差异($P < 0.05, n = 3$)。

2.1.2 对叶绿素含量的影响

叶片光合色素是铁皮石斛进行光合作用的物质基础。从图3可见,与对照组相比无论是7月份还是11月份,施肥处理后的铁皮石斛叶片叶绿素含量均呈上升趋势;7月份上升幅度0.24~3.65 mg/g,上升幅度最大的是5号处理,上升51.48%;11月份

上升幅度 0.25~4.08 mg/g,上升幅度最大的也是 5 号处理,上升 68.34%。同时发现 5 号(栀子渣/山茶粕)处理后叶片叶绿素含量优于其他各组处理,并且存在显著性差异。4 号(栀子渣)处理其次,而以山茶粕为肥料的 1 号处理(山茶粕)和 2 号处理(复合肥)叶绿素含量较对照组(CK)上升幅度不大,差异不显著。

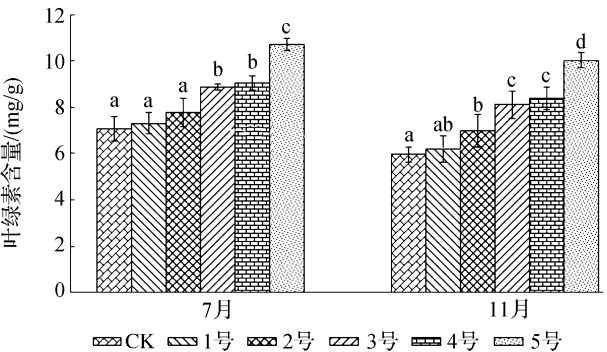


图 3 不同肥料处理下铁皮石斛叶绿素含量

注:统计分析均采用 Duncan's multiple range test 方法,不同字母表示显著性差异($P<0.05,n=3$)。

表 1 铁皮石斛各组织的 SOD 酶活性

处理	根 SOD 活性/(U/g)		茎 SOD 活性/(U/g)		叶 SOD 活性/(U/g)	
	7 月	11 月	7 月	11 月	7 月	11 月
CK	145.25±1.13a	157.78±0.89a	101.61±2.19a	131.48±1.59a	360.49±7.45a	379.67±8.14a
1 号	183.01±0.84b	195.67±1.47b	156.56±2.13c	180.29±4.38c	385.24±3.53bc	391.32±1.87b
2 号	221.62±9.51d	241.49±5.12c	147.83±4.70b	153.11±3.91b	382.71±1.56b	399.48±4.12b
3 号	230.69±3.97de	258.81±2.69d	153.34±2.00bc	176.78±2.90c	396.13±6.39c	411.93±4.76c
4 号	208.34±2.18c	242.86±1.78c	158.14±4.09c	181.47±5.01c	387.70±7.20bc	397.78±2.99b
5 号	241.04±10.09e	278.47±3.85e	173.48±5.73d	191.30±3.09d	393.89±8.73bc	420.89±5.37d

注:统计分析均采用 Duncan's multiple range test 方法,不同字母表示显著性差异($P<0.05,n=3$)。

2.2.2 对 POD 活性影响

过氧化物酶(POD)能清除植物体内过氧化物,是植物酶保护系统中重要的酶。由表 2 可见,叶的 POD 酶活高于茎的 POD 酶活,肥料处理组铁皮石斛茎中的 POD 酶活显著低于对照组;而施肥处理对

2.2 肥料对植物抗性的影响

2.2.1 对 SOD 活性影响

超氧化物歧化酶(SOD)是防御活性氧或其它过氧化物自由基对细胞伤害的重要保护酶。由表 1 可见,铁皮石斛各组织中 SOD 酶活从大到小依次为叶>根>茎;肥料处理组较对照组各组织中 SOD 酶活均存在显著性差异。7 月检测和 11 月检测结果比较来看,5 号处理的根和叶组织中 SOD 酶活增长量最为显著,分别提高 37.43 U/g 和 27.00 U/g。比较 7 月份不同肥料处理组,2 号、3 号和 5 号处理的铁皮石斛根 SOD 酶活分别超过对照组 52.58%、58.82%和 65.95%,其中以 5 号处理最高;1 号、3 号、4 号和 5 号茎 SOD 酶活超出对照组 50%以上,其中 5 号处理超出 70%。可见,肥料处理组铁皮石斛各组织中的 SOD 酶活相较于对照组均有所提高,并且在 5 组处理中均以 5 号处理(栀子渣/山茶粕)肥料处理最佳。

叶片中 POD 酶活影响呈现无规律性。比较 7 月和 11 月的检测结果,1 号处理茎中 POD 酶活上升幅度明显,提高了 3 倍多;4 号处理茎和叶中 POD 酶活上升幅度分别达到 74.85%和 47.76%;5 号处理茎中 POD 酶活上升 1.38 倍。

表 2 铁皮石斛茎、叶 POD 酶活性

处理	茎 POD 活性/(U/g)		叶 POD 活性/(U/g)	
	7 月	11 月	7 月	11 月
CK	126.67±2.31e	147.48±1.59d	160.01±4.01d	179.67±5.83c
1 号	26.67±1.37a	130.29±4.81c	142.67±4.62c	153.32±3.37b
2 号	111.17±7.29d	131.11±5.46c	176.33±3.32e	183.48±5.16cd
3 号	49.83±3.32bc	99.78±4.94b	126.50±5.75b	147.93±5.98ab
4 号	51.75±5.75c	89.47±6.31a	93.92±6.64a	138.78±3.44a
5 号	42.17±3.32b	100.30±2.41b	153.33±3.32d	189.89±6.42d

注:统计分析均采用 Duncan's multiple range test 方法,不同字母表示显著性差异($P<0.05,n=3$)。

2.2.3 对过氧化氢活性的影响

表3显示了不同处理各组织的CAT酶活性。由表3可见,与对照组相比,肥料处理组显著提高铁皮石斛根组织中的CAT酶活,其中以1号处理(山茶粕)和3号处理(碘肥)效果最为显著。就茎和叶而言,1号肥料处理下铁皮石斛叶和4号处理下铁皮石斛茎的CAT酶活分别显著高于对照组,其余肥料处理组茎和叶中的CAT酶活低于对照组。

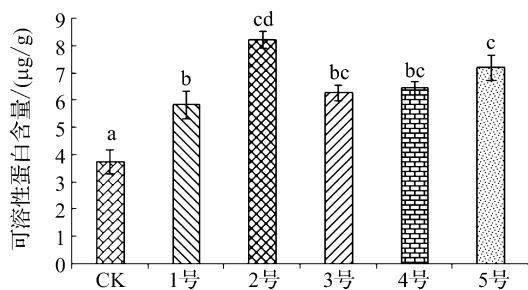
表3 铁皮石斛(7月份样品)各组织CAT酶活 U/g

处理	根	茎	叶
CK	266.87±25.56a	2756.99±245.63c	5664.69±55.88d
1号	3285.32±97.44e	2426.79±29.33b	9433.51±73.79e
2号	2470.41±141.26c	2492.35±22.78b	5341.48±219.33bc
3号	3160.84±94.91de	2569.53±16.70b	5167.86±196.51b
4号	2899.30±127.73d	2943.41±23.43cd	5420.85±26.21c
5号	1464.29±70.38b	1242.70±8.23a	4795.03±72.33a

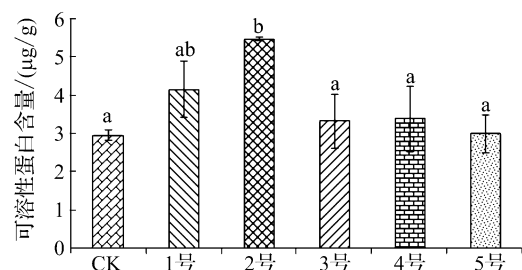
注:统计分析均采用Duncan's multiple range test方法,不同字母表示显著性差异($P<0.05$, $n=3$)。

2.2.4 对可溶性蛋白的影响

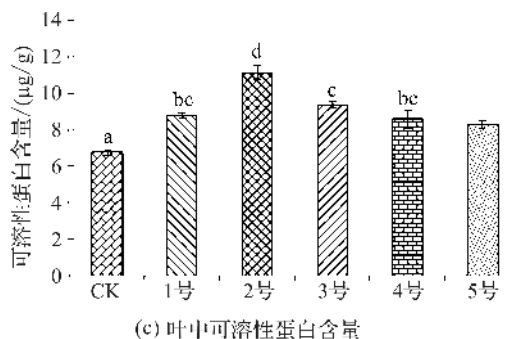
植物可溶性蛋白质主要是一些代谢酶类,与组织代谢强度和抗性有关。不同肥料对铁皮石斛可溶性蛋白含量的影响见图4。图4表明,铁皮石斛各组织中可溶性蛋白含量从大到小依次为叶>根>茎;与对照组相比,施肥组的铁皮石斛根和叶的可溶性蛋白含量显著高于对照组,其中2号处理组根、茎和叶中的可溶性蛋白含量最高,其余肥料处理之间无显著差异。可见,施用碘肥可显著提高铁皮石斛根、叶中的可溶性蛋白含量。



(a) 根中可溶性蛋白含量



(b) 茎中可溶性蛋白含量



(c) 叶中可溶性蛋白含量

图4 铁皮石斛(7月份样品)各组织中可溶性蛋白含量
注:统计分析均采用Duncan's multiple range test方法,不同字母表示显著性差异($P<0.05$, $n=3$)。

2.3 对铁皮石斛茎多糖含量的影响

多糖含量是铁皮石斛的主要功效成分,是衡量铁皮石斛品质重要指标。由图5可知,对照组石斛多糖含量最低,仅为22.94%(7月)和26.88%(11月),所有处理组多糖含量都高于对照组,差异性显著。其中5号处理多糖含量显著高于其它处理,达到29.69%和33.24%,其余各处理组之间差异不显著,表明5号处理有效提高铁皮石斛多糖含量;其次为1号处理和2号处理,这两组处理多糖含量相近。对比7月份和11月份检测结果,对照组增长率为12.28%,1号、4号和5号处理多糖增长率超过对照组,分别为12.84%、13.98%和15.86%。

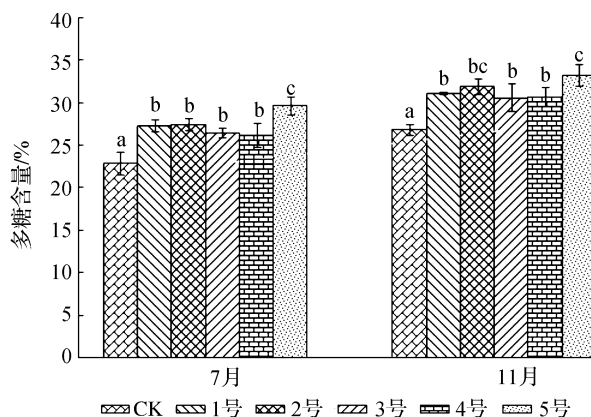


图5 不同肥料处理下铁皮石斛多糖含量

注:统计分析均采用Duncan's multiple range test方法,不同字母表示显著性差异($P<0.05$, $n=3$)。

3 讨论

随着铁皮石斛产业链的快速形成和发展,原料需求量日益扩大,而人工种植是目前铁皮石斛原料的唯一来源,这一植物药材界的商机使得人工种植基地一味增产而忽略设施农业及优质石斛原材料的重要性,加之我国传统农业的落后生产管理技术制约,使得如何提高我国道地药材的质量和生产效率,

如何对大面积土地的规模化耕种实施信息技术指导下科学的精确管理,成为了一个既前沿又迫切的问题。而现实情况是,粗放的管理与滥用化肥,效益低且造成大规模环境污染。

目前对于铁皮石斛等兰科药用植物专用高效绿肥的研究开发未见报道,长期以来一直也是各大人工铁皮石斛生产基地的技术薄弱区,甚至是误区。针对铁皮石斛普施性肥料存在的问题(碘肥价格昂贵;复合化肥利用率低,资源浪费,环境污染等问题),本文利用植物下脚料(栀子渣、山茶粕)探讨其对铁皮石斛生长的影响。研究表明,施肥显著促进铁皮石斛的生长、提高其抗逆性和多糖含量。与复合肥和碘肥相比,植物源肥料的促进效果最显著,这与孔德栋等^[10]研究不同施肥措施对铁皮石斛品质影响结果相吻合。

栀子渣/山茶粕混肥显著提升铁皮石斛的根系活力及叶绿素含量。根系活力强弱和叶绿素含量受环境因素的影响,营养元素是主要影响因素之一。植物缺N、Mg、Fe、Mn、Cu或Zn不能合成叶绿素,出现缺绿病,这些元素在叶绿素合成中起关键作用^[11]。根系活力也受C源分配和营养状况的影响,研究证明土壤提供的营养超过了植物根系存活所需的C消耗,根系即可维持生长、延缓衰老和提高根系活力^[12]。栀子渣/山茶粕富含蛋白质^[13]、淀粉糖类、氨基酸、脂肪酸及多种微量元素(如Cu、Mn、Mg、Zn、Fe和Ca等)^[14],可为铁皮石斛植株的根系生长及叶绿素合成提供必要的N、P、K等大量元素和Mg、Zn、Fe等微量元素。植物根系与地上部分存在密切的关系^[15],许明等^[16]发现根系活性与叶片叶绿素含量呈显著正相关;黄农荣等^[17]研究表明,水稻根系活力与叶片叶绿素含量呈正相关关系;孙庆泉等^[18]认为根系活力强,则衰老缓慢,可长期保证地上部分器官生长所需的物质运输,对植株地上部分各种生理代谢活动和叶片光合同化物质的积累具有促进作用。

施肥显著增强抗氧化活性。栀子渣肥显著增强抗氧化酶活性,田间种植过程中,可根据这一特点在铁皮石斛生长发育时期,施用适量栀子渣肥或栀子/山茶粕混肥,有助于增强铁皮石斛的抗逆性,从而间接促进植株的生长发育。

多糖是铁皮石斛的主要活性成分,施肥显著提高铁皮石斛茎多糖含量,其中以栀子渣/山茶粕肥效最佳。这与王渭玲等^[19]报道一致,施用氮、磷、钾显著提高黄芪多糖含量。铁皮石斛多糖由葡萄糖

(Glc)、半乳糖(Gla)、甘露糖(Man)和鼠李糖(Rha)等组成,根据植物多糖合成的基本途径及铁皮石斛多糖组成,推测石斛多糖合成途径:葡萄糖转化为葡萄糖-6-磷酸后,经两个代谢支路,合成各种寡糖(UDPG),最终通过重复单元的链接而合成多糖,因此UDPG前体物质和UDP-葡萄糖焦磷酸化酶(UGPase)是决定多糖积累关键因素^[20]。多糖合成与碳源及矿质元素含量密切相关,高浓度蔗糖处理的马铃薯叶片可诱导产生UGPase的mRNA^[21]。UGPase发挥催化活性必须有二价阳离子作为辅酶,Mg²⁺、Co²⁺和Mn²⁺都有效果,Mg²⁺改变UGPase活性位点的构象,使之更加有利于与底物的结合^[22-23]。UGPase基因在烟草、杨树、喜树等植物中的过量表达,相应的转基因植株的可溶性糖含量增加,木质素、纤维素含量及整体生物量有不同程度的增加^[24-25]。提高黄芪毛状根中UGPase的活性,可提高黄芪多糖的含量^[26]。栀子渣/山茶粕富含蛋白质、淀粉糖类、氨基酸和微量元素,可为铁皮石斛多糖合成提供充足的底物和保证关键酶活性,从而促进多糖积累,但其分子机制有待深入研究。

综上,施用植物源肥料对铁皮石斛植株生长、抗氧化活性和石斛多糖积累具有促进作用,其中以栀子渣:山茶粕=3:1效果最好,可作为铁皮石斛栽培中的专用肥料。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国药典委员会中国药典:一部[M].北京:化学工业出版社,2005:62.
- [2] TAKAMIYA T, WONGSAWAD P, TAJIMA N, SHIODA N, et al. Identification of *Dendrobium* species used for herbal medicines based on ribosomal DNA internal transcribed spacer sequence[J]. Biol Pharm Bull, 2011, 34(5): 779-782.
- [3] 戴小英,张淑霞,周莉荫,等.铁皮石斛不同外植体组培快繁技术比较研究[J].中国农学通报,2011, 27(10): 122-126.
- [4] 包雪声,顺庆生,陈立钻.中国药用石斛[M].上海:复旦大学出版社,2001:13-28.
- [5] WANG L A. Expeditionary note son habitat of *Dendrobium candidum*[J]. Plants, 1990, 20(3): 29.
- [6] 岑忠用,苏江,何铁光.培养过程中添加蔗糖对铁皮石斛生理生化特性的影响[J].河南农业科学,2011, 40(4): 129-133.
- [7] RITCHIE J T, SINGH U, GODWIN D C, et al. Cereal Growth, Development and Yield[M]. Berlin: Springer Netherlands, 1998: 79-98.

- [8] SMIRNOFF N. Plant resistance to environmental stress[J]. Current Opinion in Biotechnology, 1998, 9(2): 214-219.
- [9] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 13-270.
- [10] 孔德栋, 沈宏亮, 钟远香, 等. 不同施肥措施对铁皮石斛生长和品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2015(8): 108-111.
- [11] 李焕忠, 张吉立. 微量元素对紫叶矮樱叶绿素 a 含量影响的研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 242-245.
- [12] BRUNNER I, GENENGER M, ZIMMERMANN S, et al. Fine Root Growth and Element Concentrations of Norway Spruce as Affected by Wood Ash and Liquid Fertilisation[M]. Berlin: Springer Netherlands, 2003: 253-264.
- [13] 伍小华, 刘丹, 陈玉霞, 等. 梔子渣中植物蛋白提取工艺的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 336-338.
- [14] 刘明地, 祁正兴, 叶丹. 不同产地梔子中微量元素的主成分分析[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2014, 27(2): 15-18.
- [15] JACOBSEN S E, LIU F, JENSEN C R. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122(2): 281-287.
- [16] 许明, 贾德涛, 马殿荣, 等. 北方超级粳稻根系生理, 叶片光合性能特点及其相互关系[J]. 作物学报, 2010, 36(6): 1030-1036.
- [17] 黄农荣, 张旭, 黄秋妹, 等. 籼稻根系活力与地上部分的关系[J]. 热带亚热带植物学报, 1999(S1): 37-43.
- [18] 孙庆泉, 胡昌浩, 董树亭, 等. 我国不同年代玉米品种生育全程根系特性演化的研究[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 641-645.
- [19] 王渭玲, 王振, 徐福利. 氮, 磷, 钾对膜荚黄芪生长发育及有效成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(15): 1802-1806.
- [20] ZHAO Z, CHEN X, WANG L, et al. Studies on the correlation between polysaccharides accumulation and sugar metabolizing enzymes in *ganoderma lucidum* [J]. Chinese Agric Sci Bull, 2012, 28: 253-257.
- [21] ZRENNER R, WILLMITZER L, SONNEWALD U. Analysis of the expression of potato uridinediphosphate-glucose pyrophosphorylase and its inhibition by antisense RNA[J]. Planta, 1993, 190(2): 247-252.
- [22] DRAKE R R, EVANS R K, WOLF M J, et al. Synthesis and properties of 5-azido-UDP-glucose. Development of photoaffinity probes for nucleotide diphosphate sugar binding sites [J]. Journal of Biological Chemistry, 1989, 264(20): 11928-11933.
- [23] GILLET T A, LEVINE S, HANSEN R G. Uridine diphosphate glucose pyrophosphorylase III. Catalytic mechanism[J]. Journal of Biological Chemistry, 1971, 246(8): 2551-2554.
- [24] 刘文哲. 紫穗槐 UGPase 和 4CL 基因的克隆及在植物中的转化与表达[D]. 大连: 大连理工大学, 2002: 35-101.
- [25] COLEMAN H D, CANAM T, KANG K Y, et al. Over-expression of UDP-glucose pyrophosphorylase in hybrid poplar affects carbon allocation[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58(15-16): 4257-4268.
- [26] 连玲, 叶冰莹, 陈如凯, 等. 甘蔗尿苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶基因(UGPase)转化拟南芥及转基因植株的生理特性分析[J]. 农业生物技术学报, 2012, 20(5): 481-488.

Effect of Fertilizers on Growth, Antioxidant Activity and Polysaccharide Accumulation of *Dendrobium Officinale*

GUAN Chenglin¹, WANG Qiaoli², HU Xiufang¹

(1. College of Life and Science, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Zhejiang Benyuan Biotechnology Co., Ltd, Jinhua 321300, China)

Abstract: To select ideal fertilizers for *Dendrobium officinale*, the seedlings of annual *Dendrobium officinale* were used to test the effect of fertilizers on the growth (root activity and chlorophyll content), antioxidant enzyme activity and polysaccharide content of *Dendrobium officinale*. According to the results, fertilization significantly promotes growth of *Dendrobium officinale*. The root activity, chlorophyll content of leaves and polysaccharide content of stems improve, and antioxidant enzyme activity strengthens. Wherein, the mixed fertilizer (Gardenia residue : Camellia meal = 3 : 1) shows the most significant promotion effect, followed by iodine fertilizer. Therefore, the mixed fertilizer of Gardenia residue and Camellia meal is an ideal bio-fertilizer for *Dendrobium officinale*, and it is significantly superior to chemical fertilizer.

Key words: *Dendrobium officinale*; fertilizer; growth; resistance; polysaccharide

(责任编辑: 许惠儿)